有機資材利用之試驗研究現況與展望

張 淑 賢*

摘要：土壤有機質可改良土壤物理、化學及生物性，利於作物耕作管理，並為作物營養要素之貯藏庫，因此其含量一般被視為土壤肥力（特別是氮素肥力）之指標。許多研究結果顯示適當施用有機物可增加土壤有機質、改良土壤性質並增加土壤氮素礦化量，進而增加作物產量，而臺灣地處亞熱帶，高溫多溼，微生物活動力强，有機物分解迅速，故據調查一般耕地土壤有機質含量偏低，有44.8% 土壤含量低於2.0% 。因此為長期培育土壤生產力，即須設法維持或增加土壤有機質含量至一適當範圍。然而究竟什麼才是適當之土壤有機質含量範圍？又不同類有機物之適當投入量為何？則尚待研究。土壤有機質之積聚速率取決於有機物之投入速率與分解速率。有機物在水田之分解速率有別於旱田者。若干長期試驗結果顯示：稻田因浸水還原，有機物分解較慢，故在兩期稻作下，留在土壤中的根與莖基每公頃約有5～10噸，則土壤有機質含量即可維持不減，若另將地上物回歸土壤，則尚可增加土壤有機質含量；反之如以水旱或旱作輪作，則即使地上部作物殘株回歸土壤的乾物量每年每公頃在9噸左右（連地下部合計約18噸），土壤有機質仍逐年漸減。因此欲增加或維持本省土壤有機質含量，即需研究如何在不同之耕作系統下適量投入有機物。而臺灣地區每年所產生的農牧有機廢棄物數量龐大，包括作物殘株及禽畜糞等估計共有2,034 萬噸，含有大量生質能源與植物養分，如能妥善循環利用，回歸土壤，不僅可協助解決環境污染問題，並有助於增進土壤生產力。有關有機物合理施用技術之研究課題包括有機物的利用方式（直接施用或做成堆肥）、經濟合理施用量及施用技術（包括有機物之經濟用量、養分釋放曲線、配方調整或配合化學肥料施用等）、長期施用對土壤肥力與作物生長之影響、及有機物施用之氮磷與重金屬污染評估等，期能建立適合本省氣候環境、耕作制度、作物種類之有機物合理施用技術，同時達到兼顧有機物施用的經濟效益與環境維護之目標。本篇將摘要討論若干有關試驗研究成果並提出未來應加强研究之方向。

關鍵詞：有機物、施用技術、土壤有機質、土壤肥力

前 言

土壤有機質是動植物及微生物等之殘體在土壤中經微生物分解後所產生之黑色穩定產物，其組成與構造複雜，含有各種作物必需營養要素，具比重小、表面積大、陽離子交換能力高等特性，可促進土壤團粒構造生成，改善土壤排水、通氣性，增加土壤保水、保肥能力及對酸鹼與鹽分之緩衝能力，利於作物耕作管理。此外，土壤有機質亦為土壤微生物活動之養料，仍可繼續被土壤微生物分解利用，最後釋放出各種作物生長所需之營養要素，故而土壤有機質也是作物營養要素的貯存庫，而土壤有機質含量一般也被視為土壤肥力高低的指標（特別是氮素供應能力）。

然而臺灣氣候高溫多濕，土壤微生物活動力强，可迅速分解土壤中的有機物，因此一般耕地土壤之有機質含量偏低[1][2] 。林氏[1]在民國67至70年間進行本省土壤肥力能限分類調查結果指

＊行政院農業委員會農糧處技正

出在5,727 個樣品中有44.8% 其土壤有機質含量在2.0% 以下；另張氏[2] 在民國 80年間調查全省128 個柑橘園中有64%其土壤有機質含量在2.0% 以下，作物生產普遍仰賴施肥。因此爲增進土壤生產力，在耕作管理上即須設法維持或增加土壤有機質含量。然而欲增加土壤有機質含量並非易事。土壤有機質之積聚或減少取決於單位時間內有機物之投入量與分解量，投入速率需大於分解速率，土壤有機質含量才能增加。每公頃15公分厚度之土壤每含1.0% 有機質即約含20噸，因此欲在單位時間內增加土壤有機質含量1.0 % ，則每公頃需施入有機物之分解量再加20噸之該有機物。如此大量之有機物其取得與施用均增加作物生產成本，因此在有機物施用上即需考慮其經濟收益。此外，如果以增加土壤有機質來改良土壤性質爲目的，則須選用纖維質及木質素含量較高之有機物，因其較不易分解，利於土壤有機質之增加；相反的，如果施用易分解且碳氮比低之綠肥或油粕類，則因其分解迅速，並無法增加土壤有機質。至於於對作物生產而言，究竟什麼才是適當的土壤有機質含量範圍，則需由研究土壤有機質含量與作物產量與品質之關係來獲得，可能因土壤條件及栽培管理方法等而有所不同，還尚待研究。

近年來由於化學肥料之方便與普及，再加上有機肥料之施用及搬運費工且市售價格高昂等因素，除蔬菜、花卉、果作等高經濟作物外，其他占栽培面積最大宗之糧食作物幾乎無施用有機質肥料之誘因。然而爲培育土壤永續生產力，即須研究如何以最經濟的方法來維持或增加土壤有機質含量至一個適當的範圍。

另一方面，臺灣地區每年所產生之農業有機廢棄物數量非常龐大[3][4]（表一），估計有豬糞431 萬公噸，雞糞 404萬公噸，牛糞 166萬公噸，稻草 260萬公噸，穀殼40萬公噸，果菜廢棄物70萬公噸，蔗葉 210萬公噸，蔗渣 417萬公噸，廢棄太空包 5萬公噸，花生殼 6萬噸，魚渣25萬噸，另進口油粕類24萬噸。這些爲數可觀的有機廢棄物如果任意棄置，不僅污染環境，亦是一種資源浪費，如能將這些生質能源及其所含的植物養分循環利用，回歸到土壤，不僅可改善土壤性質，提高土壤生產力，亦可協助解決廢棄物污染問題。估計如果將每年所產生的農牧廢棄物做成堆肥則可生產593 萬噸（見表一，以堆肥製作過程乾物重約損失一半，製成之堆肥含水率爲30% 估算而得），如果平均分配於 874,535公頃耕地面積，則每公頃約施用 6.8噸。又據農委會統計臺灣地區民國八十三年農用化學肥料之三要素總量分別爲氮素26.3萬噸、磷酐 7.4萬噸、氧化鉀10.5萬噸，平均每公頃耕地之三要素施肥量高達 515公斤；另估計含當年所飼養之牛、豬、雞排泄物所含三要素量[5]分別爲化肥要素施用總量之58% 、233% 、110% （表二、三）；則除氮素外，禽畜糞尿所含之要素量除氮外，已可全部取代化學肥料，因此其對環境所造成之負荷可想而知，亟須妥善處理，回歸農田，以取代部分化學肥料之施用。而農牧有機廢棄物之處理及利用技術均需加強研究。

有機物用於作物生產時有幾個問題必須考慮，首先是有機物的合理施用量問題。無論從投資報酬率、作物品質、或環境維護之觀點來考慮，有機物的適當施用量並非毫無限制。如前述，有機物的施用增加施肥成本，其所能增加的收益最少須能收支相抵；又有機物經礦化產生的氮量如超過作物生長所需，即影響作物產量和品質；此外有報告[6] 指出每公頃施用 100噸豬糞堆肥，即造成硝酸態氮污染地下水；且有機物含有相當量的磷，可隨表面逕流污染河川水源；又禽畜糞、污泥或垃圾堆肥等有機物均可能含有相當量的重金屬，長期大量施用即可能造成土壤中重金屬累積而爲害作物或經由食物鍊之濃縮作用爲害人體，因此有機資材的利用必須分別從土壤改良、養分供應、環境維護及有機廢棄物處理等方面考慮其合理施用量。第二個要考慮的問題爲有機物如果以供應作物養分爲目的，則需考慮其養分釋放曲線如何配合作物生長所需？又某一有機資材之三要素比例不一定適合特定作物要素需求或特定土壤之肥力狀況，如果長期大量施用，即可能造

成土壤中養分不平衡而影響作物產量和品質，因此為求達成作物增產的目標，即需研究如何調配有機資材之配方，或研究如何配合化學肥料施用，使適合作物生長所需。

有機物可直接施入土壤、或做成堆肥再施用、或製成栽培介質等。直接施用雖可省去堆肥化處理之繁瑣與製作成本，然而作殘株等可能含有病虫害及雜草種子等，未經處理即直接施用有可能為害作物，又禽畜糞等則可能傳播疾病或產生異味而影響環境衛生。此外新鮮有機物如果大量直接施入土壤中，則其分解過程所產生的有機酸等有毒物質，可能為害作物，而碳氮比高之有機物則更可能固定土壤中的氮素造成作物缺氮，因此新鮮有機物有時須於作物種植前一個月或更早施入土中，並保持適當水分狀態，使其充分分解，若施用碳氮比高的資材則須在基肥時增施氮肥。堆肥製作方法[4]係調整有機資材之整碳氮比至30，水分含量調整至60％，堆積至一定高度使發酵一段時間，並經通氣或翻堆補充氧氣，即可將易分解、不穩定之物質分解或改變，製成腐熟堆肥，在堆積過程溫度可達60℃以上具殺菌效果，因此一般腐熟堆肥即使大量使用亦不致為害作物。惟堆肥製作需要場地、設備或能源，均增加施用成本。

本篇將摘要檢討若干有關之試驗研究成果，並提出未來有機物合理施用技術之試驗研究展望。

表一、臺灣地區1993年產生之農牧有機廢棄物概估數量

Table 1. The estimated amount of main agricultural organic wastes produced in Taiwan in 1993.

Catagories	Wet wt. (10^4 ton)	Moisture[b)] (%)	Dry wt. (10^4 ton)
Hog manurea)	431	77	70
Chicken manure	404	65	141
Cow manure	166	82	30
Bagass	417	42	292
Sugarcane leaves	210	70	63
Rice straw	223	30	156
Rice husk	41	10	37
Corn stalk	35	30	25
Peanut husk	6	30	4
Wastes from fruit/ vegetable markets	71	90	7
Sawdust waste from mushroom culturing farm	5	30	4
Wastes from fish market	25	80	5
Total	2034		831

Note:

[a]) The total amount of animal feces produced in 1994 were calculated from the number of cattles, hogs, and chickens at the end of that year and the amount of their daily excretion (i.e., cattle 27.5kg, hog 1.20kg, chicken 0.12kg).

[b]) Estimated values.

表二、豬雞牛每日排泄之三要素量(g/head/day)
Table 2. Daily excretion of N, PO, KO from each hog, chicken, and cattle.

	N	P_2O_5 (g/head/day)	K_2O	No. of animals in the end of 1994
Hog	20.5	12.9	7.7	9,844,920
Chicken	2.0	3.5	2.1	92,329,000
Cattle	181.7	123.0	258.0	165,601

資料來源：嚴氏[5]，1989.

表三、臺灣地區1994年環境中由化學肥料使用及禽畜糞尿而來之三要素投入量概估
Table 3. The estimated loadings of N, P_2O_5, K_2O coming from chemical fertilizers consumption and animal excretions into the environment of Taiwan in 1994. (10ton)

Sources	N	P_2O_5	K_2O
Chemical fertilizers	26.29	7.37	10.53
(Index)	(100)	(100)	(100)
Hogs	7.36	4.64	2.77
Chickens	6.74	11.80	7.24
cattles	1.10	0.75	1.56
Total	15.20	17.19	11.57
(Index)	(58)	(233)	(110)
Sum	41.49	24.56	22.10

若干施用有機物對提升作物產量與品質效果之研究成果

過去之研究結果[7-14]顯示：在施用化學肥料之外，若再加施適量有機物，則或因其改進土壤理化性、或提供額外之養分（特別是氮素）、以及能持續供應作物生長中後期所需之養分，對提升作物產量與品質有所助益。其中又以對旱作物之增產效果大於對水稻者。

曾、謝二氏[7]於板橋及新庄兩處強酸性土壤蔬菜園各連續七作及十四作之試驗結果顯示：在三要素化學肥料之外，加施5或10噸垃圾堆肥，或加施3噸木屑雞糞，使各作平均分別較僅施化肥區增產11～22%、17～30% 及16～24%，其中施用10噸垃圾堆肥者需加施 1/3量之化學氮肥才能得到最高產量（表四）。蘇氏[8]於稻田施用新鮮豬糞之試驗結果顯示：新鮮豬糞若於一期作水稻種植前30 天或二期作種植前20天以耕耘機整地耙碎均勻施入土中，使充分分解，對水稻生育即無不良影響。其所施用之豬糞每10噸約含氮素48公斤、磷酐23公斤、氧化鉀24公斤。在化學氮肥用量減施一半（一期作減施63公斤、二期減施52.5公斤）之情形下，對一期作水稻可加施10～15噸鮮豬糞，較施用全氮量化肥處理增加稻穀產量 9～13% ，而且施糞區在收穫時水稻之葉色較化肥

區濃綠；而在二期作則僅可加施10噸鮮豬糞並僅較化肥區增產3～7%（表五）。

胡氏[9]於東部兩處粘質壤土進行穀殼施用對玉米及其後作水稻之效果試驗，結果顯示：施用穀殼可降低粘重土壤之總體密度、提高玉米發芽率並促進根群發育，進而增加玉米產量，而且以穀殼掩埋(20t/ha)之效果優於穀殼敷蓋區(10t /ha)，兩地點平均分別較對照增產36% 及20% ；而穀殼施用對於後作水稻之殘效則分別為17% 及 8%（表六）。又王氏[10]等之試驗結果顯示：夏作田菁覆蓋不整地栽培處理，可改善土壤物理性，如增加粗孔隙率、提高土壤有效水分及入滲速率等，因而促進後作玉米根系發育，使玉米子實產量平均較未植田菁者顯著增產12% 。

表四、施用垃圾堆肥或木屑雞糞對蔬菜之增產效果(t/ha)

Table4. Effect of city wastes compost and sawdust-chicken-manure on vegetable production. (t/ha)

Location	OM 0[b)]		Compost 5t/ha		Compost 10t/ha		Sawdust-C.M. 3t/ha	
	N[c)]	2/3N[c)]	N	2/3N	N	2/3N	N	2/3N
Bangio[a)]	24.3	24.6	26.8	27.3	27.5	28.4	26.9	28.1
(Index)	(100)	(101)	(110)	(112)	(113)	(117)	(111)	(116)
Hsinjun[a)]	23.5	25.9	30.5	31.0	32.9	30.5	29.2	31.5
(Index)	(100)	(110)	(130)	(132)	(140)	(130)	(124)	(134)

Note:

a) Each yield data was averaged from the yeild of 7 crops and 14 crops of vegetables grown in Bangio and Hsinjun respectively.

b) No organic material was added in this treatment.

c) N: full amount of chemical fertilizer nitrogen was applied; 2/3N: Only two-thirds of the full amount of N was applied.

資料來源：曾、謝[7]，1982.

表五、施用鮮豬糞並配合半量化學氮肥對水稻之增產效果(t/ha)

Table 5. Effect of the application of fresh hog manure in combination with 50% of the recommended rate of chemical fertlizer nigtogen on rice grain yield. (t/ha)

Rice type	crops	Check (M0)	Manure 5t/ha	Manure 10t/ha	Manure 15t/ha
Japonica	1st	7.35 (100)	7.40 (101)	7.95 (108)	8.08 (110)
	2nd	3.63 (100)	3.67 (101)	3.89 (107)	3.58 (98)
Indica	1st	7.57 (100)	7.62 (101)	8.46 (112)	8.65 (114)
	2nd	5.92 (100)	5.97 (101)	6.11 (103)	6.15 (104)

資料來源：蘇氏[8]，1982。

表六、施用穀殼對土壤總體密度、玉米發芽率與產量之影響、及其對後作水稻之殘效

Table 6. Effect of application of rice husk on soil bulk desity, the germination rate and yield of corn, and its residual effect on the yield of rice after corn in two clay loam soils.

Treatment	Soil bulk density (g/cm)	Corn seed germ. rate (%) 1rt Y	2nd Y	Corn grain yield (t/ha)	(Index)	Rice grain yield (t/ha)	(Index)
Rice husk 20/ha incorporated	1.07	81	89	5.13	(136)	5.96	(117)
Rice husk 10/ha as a mulch	1.11	53	88	4.50	(120)	5.48	(108)
Check	1.18	53	84	3.76	(100)	5.08	(100)

資料來源：胡氏[9]，1987。

至於土壤有機質含量或有機物施用對農產品品質之影響並無一致之效果。陳氏[11]等在中部地區 108個地點之試驗結果顯示：土壤有機質含量高者，其所生產之稻米米飯均衡度較佳。施、謝二氏[12]比較施用不同有機資材與化肥區對米質之影響，兩年四期作之結果顯示處理間米質差異極為有限。黃、戴[13]等六年十八作之有機農業可行性研究結果顯示有機農法生產之農產品（包括米飯、甜玉米、毛豆、甘藍等）食味優於化學農法者。至於土壤有機質或有機物施用對農產品品質之影響機制為何則尚待進一步探討。

此外含氮量高之有機物若施用過多，也和化學氮肥施用過量一樣，除降低作物產量與品質外造成植體內硝酸態氮之累積。鄭氏[14]之試驗結果顯示：在化學肥料之外添加20噸豬糞堆肥雖增加菠菜產量達22% ，但也同時增加植體內硝酸態氮含量達47% 之多。

表七、有機肥及化學氮素用量對菠菜產量及硝酸態氮含量之影響

Table 7. Effect of the rates of hog manure compost and chemical fertilizer N on the yield and tissue NO_3--N concentration of spinach.

Treat-ment	Yield (kg/ha)	(Index)	Tissue NO_3-N (ppm)	(Index)
M0	2,729	(100)	5,832	(100)
M20	3,320	(122)	8,546	(147)
N 0	2,864	(100)	4,562	(100)
N 60	3,103	(108)	6,913	(152)
N 120	3,070	(107)	7,900	(173)
N 180	3,062	(107)	9,380	(206)

資料來源：鄭氏，1990

若干有機質肥料之氮素肥效及新鮮有機物之施用適期研究成果

不同有機資材對作物之氮素肥效因其分解之難易程度、及碳氮比與乾物含氮率之不同而互異。又新鮮有機物在土壤中分解時可能產生有毒物質，爲害作物根系，必須於作物種植前一段時間即施入土壤中使其分解，其施用適期可因有機物種類、浸水與否、土溫高低等而異。謝氏等(15)於中部地區一期稻作種植前一星期每公頃掩施15噸埃及三葉草，可節省化學氮肥用量40公斤，且其稻穀產量與全量化學氮肥區相近。黃、蔡二氏(16)之試驗結果則顯示：乾豬糞對甘籃之肥效略優於石灰豬糞、加施20t/ha豬糞之效果略優於10t/ha、並以種植前兩週施用之效果較植前一週或種植前者略佳（表八）。又施、謝(12)研究顯示：不同有機資材之氮素肥效不同，由表八可知：對一期作水稻而言，在同爲 130公斤施氮總量下，各有機肥料之氮素肥效爲油粕類＞化學肥料＞禽類堆肥＞樹皮堆肥；因此油粕區水稻植株最高且植體氮含量最高，但卻因氮過多而減產17～22％，並以油粕倍量區減產幅度較大；兩種堆肥處理之株高與植體氮含量均較低，樹皮堆肥區並較化肥區減產7～12％，而以堆肥倍量區減產幅度較小（表九）。另黃、戴(13)之六年有機農業可行性研究結果顯示：對水稻及甘藍等需氮量高之作物，雖以慣行農法試區所施用之化學氮素總量之倍量來換算所需施用之堆肥量，惟其產量仍不及化肥區，但隨者試驗時間推移則減產幅度漸減；反之，對綠肥及毛豆等需氮量低之作物，則有機區產量高於化肥區。另臺南場林滄澤先生之試驗結果（未發表）則顯示：牛糞堆肥對甘藍而言其供氮力僅及化學氮肥之1/4。有關各類有機質肥料之氮素肥效評估方法還待加强研究建立。

表八、不同豬糞用量及施用時期對甘藍產量之影響

Table 8. Effect of the rate of hog manure and the timing of its application on the yield of cabbage.

Treatment	Yield (t/ha)	Index
Dry hog manure	33.9	100
Limed hog manure	33.0	97
Rate: 20 t/ha	34.4	100
10 t/ha	32.5	95
Two weeks before planting	34.1	100
one week before planting	33.5	98
prior planting	32.8	96

Note:

1.資料來源：黃、蔡，1980

2.The Rate of application of N-P_2O_5-K_2O was kept at 250-70-120kg/ha.

表九、不同有機資材對八十一年一期作水稻株高、產量及植體氮素含量之影響
Table 9. Effect of different kinds of organic fertilziers on the plant height, yield, and tissue notrogen concentration of the 1st rice crop.

Treatment $N-P_2O_5-K_2O$(kg/ha)		Height (cm)	Yield (kg/ha)	(Index)	tissue N
130-45-60 (CK)		100	6265	(100)	2.76
100-45-60		96	6459	(103)	3.00
Chicken	R1	98	6320	(101)	2.10
	R2	94	6410	(102)	2.18
Bark	R1	95	5522	(88)	2.67
	R2	96	5823	(93)	2.53
Oil cake	R1	104	5209	(83)	3.40
	R2	106	4914	(78)	3.80

Note:
1. 資料來源：施、謝二氏，1994。
2. The application rates R1 of the three organic fertilizers were calculated from 130 kg Ndivided by their N concentrations. The rate R2 is two times of R1.
3. The chicken manure compost was the Tai-fei No.1 organic fertilizers.

長期施用有機物對土壤有機質積聚及作物產量之影響研究結果

羅、蘇二氏(17)在屏東萬巒進行酸性土於水稻－水稻－大豆輪作下長期施用石灰與作物殘體對土壤肥力與作物產量之影響試驗，其結果顯示地上部作物殘體埋入區之平均作物產量各爲6.65噸、4.47噸及2.42噸。若估計地上部作物殘體約與子實產量相當，則每年之作物殘體埋入量合計約13.6噸，經十四年(1974-1988)後，殘體埋入區之土壤有機質含量僅較移除區增加0.15%（分別爲2.95% 及3.10%），同時兩區之土壤有機質含量較十四年前並未減少（分別增加0.35% 及0.50%）。而作物殘體埋入處理對水稻產量並無影響，對大豆則較移除區平均增產19%（表十）。

農試所在台北之48年長期水稻田連用同樣肥料試驗結果顯示（表十一，林氏等(18)）：在每作施氮總量同爲95kg/ha 之下，改施以豆餅、綠肥或堆肥並另加施同量過磷酸鈣（估計每年加入之有機物量分別爲2.8，7.6及12.7公噸），則分別較三要素化肥區增加土壤有機碳0.31%，0.55%及0.42%（換算成有機質爲0.51%，0.95% 及0.72%）；同時以施堆肥加過磷酸鈣之處理土壤氮礦化量最高，水稻產量增加14.3%～17.6%。

在旱田狀態下，微生物活性較水田爲高，有機物分解較快，蔡氏(19)之試驗結果顯示：由兩期稻作耕作系統轉爲水稻－玉米系統，則土壤有機質含量即由第一年之3.72% 降爲3.29%，第二年再降爲3.19%。

表十、在水稻－水稻－大豆次序下經十四年殘株埋入或移除處理對產量與土壤有機質含量之影響

Table 10. Effect of the incorporation of crop residues into soil on soil organic matter content after 14 years of continuous cropping under a rice-rice- soybean rotation system.

Crops	Crop yield (t/ha) (Index) + O[a]	− O
1st rice crop	6. 68 (100)	6. 65 (100)
2nd rice crop	4. 47 (102)	4. 35 (100)
Soybean	2. 42 (119)	2. 03 (100)
Total	13. 57	13. 03
Soil organic matter matter (%)	3. 10	2. 95

Note: [a] + O：Crop residues were incorporated.
− O：Crop residues were removed.
資料來源：羅、蘇(17)，1992.

旗南分場之有機農業可行性研究(13)六年結果亦顯示：在三年六作僅含一作水稻之輪作系統下，估計有機農法區平均每年之有機物投入量約27.3噸，另埋地上部作物殘株 8.8噸；而化學區則平均埋入 9.3噸（表十二），則六年後有機區之土壤有機質含量增加1.95% 而化學區減少0.18% （表十三，王、趙(20)）。

表十一、48年長期連用同樣肥料對兩期稻作產量與土壤有機碳含量之影響

Table 11. Effect of different fertilization programs on soil organic matter contents and rice yields after 48 years of continuous treatment.

	Soil O.M.(%)		Yield index	
Treatment	Top-soil	Sub-soil	1st crop	2nd crop
W/O fertilizers	2. 11	0. 87	55	71
Chemical NPK	2. 26	0. 84	100	100
Soybean cake + P	2. 57	0. 83	106	108
Barn manure + P	2. 68	0. 89	110	116
Green manure + P	2. 81	0. 89	101	103
NPK + lime	2. 35	0. 81	108	106
Green manure +lime	2. 78	0. 90	104	102

Note：1. 資料來源：林氏等(18)，1973.
2. The rate of chemical fertilizers $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$=95-41.5 -78.9 kg/ha. The rate of N was used as the base for calculating the amount of organic fertilizers should one apply.
3. The average grain yields of the NPK plot were 2.76 and 2.32 t/ha for the 1st and 2nd rice crop respectively.

表十二、連續六年施行有機農耕法或化學農耕法後各輪作作物產量、殘株埋入量及土壤有機質含量變化

Table 12. Comparisons on the crop yields, amount of crop residue incorporated, and soil organic matter contents betewee organic farming and conventional farming after six years of experiment.

Sequence of rotation in every 3 years		Fert. rate $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	Yield (t/ha)	(Index)	Crop resid.a) (t/ha)
Conventional farming					
Sesbania	(Summer)	0-0-0	27.5	(100)	5.5
Cabbge	(Fall)	200-32-70	72.2	(100)	0.5
Sweet corn	(Spring)	178-56-60	10.2	(100)	5.1
Rice	(Summer)	120-40-60	6.1	(100)	6.1
Veg. soybean	(Fall)	60-72-60	7.4	(100)	7.4
Sweet Corn	(Spring)	178-56-60	8.3	(100)	3.2
Annual Total:					9.3
Sequence of rotation in every 3 years		**Rate of O.M. (t/ha)**	**Yield (t/ha)**	**(Index)**	**Crop resid. (t/ha)**
Organic farming					
Sesbania	(Summer)	0	29.3	(107)	5.9
Cabbge	(Fall)	22.2	56.9	(79)	0.5
Sweet corn	(Spring)	19.8	10.9	(115)	5.5
Rice	(Summer)	13.3	5.4	(88)	5.4
Veg. soybean	(Fall)	6.7	8.6	(116)	4.3
Sweet Corn	(Spring)	19.8	9.3	(112)	4.7
Annual Total:		27.3			8.8

a)Estimated dry weights of crop residues.

資料來源：黃、戴等氏[13]，1995.

表十三、有機農業可行性之研究試驗前後土壤有機質含量(%)

Table 13. Changes in soil organic matter content after 6 years under different farming practices.

Year	Conventional farming	Intermediate farming	Organic farming
1988	2.29	1.86	2.33
1994	2.11	2.61	3.92
Changes	-0.18	+0.75	+1.59

資料來源：王、趙[20]，1995.

由上述可見在兩期作水田之耕作制度下，由於浸水還原狀態下，有機物的分解較慢，每年因水稻種植約有5～10噸之稻根與莖基部殘存於土壤中，土壤有機質含量即不致減少。若再將作物地上部殘株埋入，則土壤有機質含量即增加。反之在旱田狀態下，有機物分解較快，即使將9.3噸之地上部殘株埋入土壤中(若合併土壤中之根與莖基計算即約投入約18噸有機物)，土壤有機質含量仍然隨耕作時間漸減；而研究結果顯示有機物之使用對旱作物之增產效果往往大於對水稻者，因此對於旱作物之生產而言，有關如何妥善運用作物殘株及其他有機質肥料以提升作物產量與品質之技術研究即甚重要。

有機物推廣使用於作物生產時所面臨之問題

有機物用於作物生產時有幾個問題必須考慮，首先是有機物的合理施用量問題。無論從投資報酬率、作物品質、或環境維護之觀點來考慮，有機物的適當施用量並非毫無限制。有機物的施用增加施肥成本，其所增加的收益最少須能與成本相抵。無論以改善土壤理化性或供應作物所須營養要素為出發點來使用有機物，其單位面積施用量均以噸計。因其體積龐大，施用及搬運費工，又市售價格頗為昂貴，施用有機資材之成本比單用化學肥料高出十餘倍[13]。為有效推廣農民使用有機質肥料以消納為數龐大的廢棄物，即需大幅降低其施用成本，包括發展及推廣使用施肥機械及降低有機質肥料售價至每公斤2元以下。假設在化學肥料之外每公頃增施10噸有機物可使蔬菜增產10%，並假設僅施化學肥料時該蔬菜之公頃產量為20公噸，則增產量為2,000公斤，設若其售價為每公斤20元，則可增加收入4萬元，若該有機質肥料之售價為每公斤2元，則扣除2萬元肥料成本及約5千元施肥工資，農民尚有1萬5千元淨利。但如果該蔬菜之售價每公斤低於12.5元，或該有機質肥料之售價每公斤高於3.5元，則農民即無法獲利。又對栽培面積最廣之水稻而言，同樣假設每公頃施用有機質肥料10噸可增產10%，並假設未施有機物之公頃稻穀產量為5噸，則稻穀增產量為500公斤，而每公斤稻穀之售價如果為20元，則收入增加1萬元；但是即使該有機質肥料之售價每公斤僅2元，其購肥成本為2萬元，則淨收益已為負值。可見對蔬果、花卉等高經濟作物而言，適當施用有機質肥料可以增加收益；惟對水稻栽培而言，幾無施用有機質肥料之誘因，為維持水田之有機質含量，應推廣農民以聯合收穫機將稻草切碎犁入土中，以做為土壤有機質之來源並循環利用其養分。

此外，由前述試驗結果可知：施用之有機物經礦化產生的氮量如超過作物生長所需，即影響作物產量和品質[12][14]，因此其施適當用量必需衡量其氮素供應能力。另有報告[6]指出每公頃施用100噸豬糞堆肥，即造成硝酸態氮污染地下水；且有機物含有相當量的磷，可隨表面逕流污染河川水源。又禽畜糞、污泥或垃圾堆肥等有機物均可能含有相當量的重金屬，長期大量施用即可能造成土壤中重金屬累積而為害作物或經由食物鏈之濃縮作用為害人體。據連、李[21]調查市售及製造業者所生產之216個有機質肥料之結果：雞糞堆肥與豬糞堆肥均含顯著的銅、鋅；兩者之銅含量各在9～394及6～301ppm範圍，其中超過100ppm者各達其樣本數之33及42%；兩者之鋅含量各在56～1147及35～623ppm範圍，其中超過500ppm者各占其樣品數之9及5%。為減少禽畜糞堆肥中所含之銅鋅量，除可由其堆肥製造原料中添加鋸木屑、蔗渣、稻草、谷殼等予以稀釋外，比較根本的解決辦法是儘量減低飼料中銅鋅之添加量。由上面的討論可知，有機物之適當施用量必須依其養分釋放特性、作物需肥量、環境維護及投資報酬率來決定。

第二個要考慮的問題為有機物如果以供應作物養分為目的，則需考慮其養分釋放曲線如何配合作物生長所需？如前述，有機物中所含的營養要素係以有機的型態存在，必須經微生物分解轉

變成無機型態才能被作物吸收利用。然而有機物的養分釋放速率受有機資材的碳素組成（如纖維質及木質素含量）、碳氮比、土壤溫度、濕度、pH、氧氣供應等因子所影響，不一定能配合作物生長所需；又某一有機資材之三要素比例不一定適合特定作物要素需求或特定土壤之肥力狀況，如果長期大量施用，即可能造成土壤中養分不平衡而影響作物產量和品質，因此爲求達成作物增產的目標，即需研究各種有機資材之養分釋放曲線，並研究如何調配有機資材之配方、或研究如何配合化學肥料施用，使適合各類作物生長所需。此外，亦須應用土壤速測定期診斷土壤養分狀況，以便修正施肥措施。

有機物可直接施入土壤、或做成堆肥再施用、或製成栽培介質等。直接施用雖可省去堆肥化處理之繁瑣與製作成本，然而作殘株等可能含有病虫害及雜草種子等，未經處理即直接施用有可能爲害作物，又禽畜糞等則可能傳播疾病或產生異味而影響環境衛生。此外新鮮有機物如果大量直接施入土壤中，則其分解過程所產生的有機酸等有毒物質，可能爲害作物，而碳氮比高之有機物則更可能固定土壤中的氮素造成作物缺氮，因此如前述，新鮮有機物常須於作物種植前20～30天施入土中[8]，並保持適當水分狀態，使其充分分解，若施用碳氮比高的資材則須在基肥時增施氮肥。堆肥製作方法[4]係調整有機資材之整碳氮比至30，水分含量調整至60％，堆積至一定高度使發酵一段時間，並經通氣或翻堆補充氧氣，即可將易分解、不穩定之物質分解或改變，製成腐熟堆肥，在堆積過程溫度可達60C以上具殺菌效果，因此一般腐熟堆肥即使大量使用亦不致爲害作物。惟堆肥製作需要場地、設備或能源，均增加施用成本。在研究有機物之應用方式時，這三種利用方式均應予以考慮，從中尋求最經濟可行之利用方式。

未來之試驗研究展望

綜合上述討論，試提出未來應加强研究之方向如下：

一、加强研究各種有機資材在臺灣之氣候與耕作制度下其分解與養分釋放速率。

二、研究建立快速評估各類有機資材之氮素肥料效率之方法。

三、研究建立臺灣地區所產生之大宗有機物之合理施用之技術，包括施用量、施用時期、如何與化學肥料配合施用等，以適合各類作物生長所需。

四、研究長期施用有機物對作物產量與品質及土壤物理、化學及生物性之影響，特別注意評估其養分收支與平衡、重金屬累積及對地下水污染之可能性。

五、發展有機物在土壤中之分解與積聚、及其養分動態之模式，俾評估有機物之合理施用量，並用以預測長期施用有機物對作物生產與環境之影響之影響。

六、加强開發利用各類農業有機廢棄物以研製育苗介質或花卉栽培介質。

七、加强開發應用微生物於堆肥製作，以加速堆肥發酵過程，提升堆肥及育苗介質之品質。

八、加速研發經濟合用之有機質肥料施肥機械，以利有機肥之利用推廣。

參考文獻

1. 臺灣省農業試驗所. 1982 臺灣省農業試驗所年報民國七十年版. P.73

2. 張淑賢、黃維廷、連深、吳婉麗. 1992 土壤及葉片分析營養診斷應用於柑橘園肥培管理之研究. 八十年度土壤肥料試驗報告 P. ，省農林廳編印.

3. 農林廳. 1994 臺灣農業年報民國八十三年版.

4. 王西華. 1989 農業廢棄物在有機農業之利用. 有機農業研討會專集 P.217-227. 1988年10月27-

29日在臺中區農業改良場舉開，謝順景、謝慶芳主編，臺中場印行.
5. 嚴式清. 1989 畜牧廢棄物在有機農業之利用. 有機農業研討會專集 P.229-242. 1988年10月27-29日在臺中區農業改良場舉開，謝順景、謝慶芳主編，臺中場印行.
6. Koshino, M. 1988 Recent advances in the application of livestock manure to farm land in Japan. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Extension Bulletin No. 282, 17pp.
7. 曾潤錦、謝煜光. 1982 蔬菜園有機肥料與化學肥料配合試驗・七十年度土壤肥料試驗報告 P. 120-124，省農林廳編印.
8. 蘇俊茂. 1982 稻田施用新鮮豬糞試驗. 七十一年度土壤肥料試驗報告 P.41-49，省農林廳編印.
9. 胡南輝. 1987 重黏土施用穀殼對旱作與後作水稻效果及肥力變化觀察試驗. 七十四年度土壤肥料試驗報告 P.47-59，省農林廳編印.
10.王鐘和、連深、洪崑煌. 1994 輪作田夏作田菁及其耕耘方式對秋作之玉米生育及子實生產之影響. 八十二年度土壤肥料試驗報告 P.1-32，省農林廳編印.
11.陳世雄、蘇慕容、黃俊欽、宋勳. 1993 土壤及氮素營養對稻米品質之影響. 八十一年度土壤肥料試驗報告 P.1-37，省農林廳編印.
12.施宗禮、謝元德. 1994 有機肥料施用對稻米品質及產量之影響. 八十二年度土壤肥料試驗報告 P.72-80，省農林廳編印.
13.黃賢喜、戴順發. 1995 有機農業可行性之研究. 八十三年度土壤肥料試驗報告（編印中），省農林廳編印.
14.鄭雙福. 1990 有機肥料、爐渣及氮肥對蔬菜產量及硝酸態氮累積之影響. 七十八年度土壤肥料試驗報告 P.181-188，省農林廳編印.
15.謝炯明、王錦堂、黃山內. 1981 掩施埃及三葉草稻田之氮肥調節. 七十年度土壤肥料試驗報告 P.120-124，省農林廳編印.
16.黃祥慶、蔡宜峰. 1991 不同豬糞用量及施用時期對蔬菜效果之研究. 七十九年度土壤肥料試驗報告 P.128-135，省農林廳編印.
17.羅瑞生、蘇楠榮. 1992 酸性土壤於水稻－水稻－大豆輪作下長期施用石灰與作物殘體對土壤肥力與作物產量之影響. 酸性土壤之特性及其改良研討會專集 p.10-1～10-32，1992年5月7-8日於花蓮區農業改良場舉開，中華土壤肥料學會印行.
18.林家棻、李子純、張愛華. 1973 長期連用同樣肥料對於土壤化學質與稻穀收量之影響. 農業研究 22(4):241-262.
19.蔡永皞. 1993 施用雞糞堆肥對轉作田土壤及作物氮素動態之影響. 八十一年度土壤肥料試驗報告 P.183-193，省農林廳編印.
20.王銀波、趙震慶. 1995 有機與化學農法下土壤環境及養分收支之比較. 八十三年度土壤肥料試驗報告（編印中），省農林廳編印.
21.連深、李豔琪. 1994 有機質肥料之重金屬含量及「肥料規格之有關規範」.「土壤與肥料污染研討會論文集」：p. 158-173. 1994年四月於省農業藥物毒物試驗所舉開，中華土壤肥料學會編印。

Research and Develoment into the Appropriate Use of Organic Materials for Crop Productionits Current Staus and Future Perspective

Su-San Chang

Summary

Soil organic matter can improve soil physical, chemical and biological properties and thus is beneical to crop production. It also contains the essential elements for crops which can be released after microbial decomposition. Therefore soil organic matter content is usually recognized as an indicater of soil fertility status (especially for soil nitrogen fertility). And in order to increase soil productivity, soil organic matter content should be increased or maitained at a certain level by applying organic materials.

About 44.8% of the farm land in Taiwan has a soil organic matter content below 2.0%. Many experiments done in Taiwan showed that an approiate use of organic materials, such as crop residues, animal wastes, and composts, in combination with some proper amounts of chemical fertilizers can improve crop yield and quality. However inappropriate use of organic material can also caused a decline in crop yield and quality and cast doubts on ground water pollution. In addition, the application of organic fertilizers is quite costly. Therefore organic materials should only be recommended for farmers to use if it is economically feasible and environmentally sound.

On the other hand, there are about 20 million tons of animal wastes and crop residues produced in 1994. Among them, about 2.4 million tons dry matter of animal wastes were produced, which contains considerable amount of nutrients. These animal wastes have to be composted or treated properly and the niutrients contained in them be recyled for crop production. To promote the use of these animal wastes by farmers, their sale prices should be kept as low as 2,000 NT dollars per ton and some handy application machine should be developed. In this paper, some research results in reation to the appropriate use of organic materials were reviewed and the perspective of future research activities was also discussed.

Key words : Organic materials, Application techniques, Soil organic matter, Soil fertility